

文章编号: 1001-3806(2011)02-0249-03

光学相干探测系统多信号处理性能的研究

邓德迎, 何宁, 廖欣

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

摘要: 针对复杂而密集的电磁环境下多信号共存与传输的特点, 为解决光学相干接收系统多信号的同时处理能力, 基于声光偏转原理, 设计了采用声光偏转技术和光纤相干光探测相结合的测频系统, 对不同频率信号的声光相互作用和光束偏转进行分析, 通过对多频互调的数值仿真, 给出了减小多信号相互作用下互调现象的解决方案。构建了实验平台, 将空间光注入到光纤进行信号复用和传输处理。结果表明, 系统对信号的实时捕获能力强, 在系统带宽内实现了多信号载频的同时测量, 经测试频率分辨率优于 0.1 MHz, 截获率为 100%。

关键词: 激光技术; 并行信号处理; 相干探测; 声光偏转

中图分类号: O422.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.02.029

Study on the multi-signal processing performance of optical coherent detection systems

DENG De-ying, HE Ning, LIAO Xin

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to solve multi-signal processing simultaneously in an optical coherent receiver system, a frequency measurement system that employs acousto-optic deflection technology and fiber-based coherent optical detection was designed based on acousto-optic deflection principle and characteristics of multiple signals co-existing and transmitting in the complex and dense electromagnetic environment. The acousto-optic interaction and beam deflection of different frequency signals were analyzed in theory. Through numerical simulation of multi-frequency intermodulation, the solution of reducing intermodulation of multiple signals was obtained. An experimental platform for handling multiple signals was constructed with space light injecting into fiber. Experimental result shows that real-time signal capture capability of the system is very strong and carrier frequency measurement of multi-signal can be realized in the system bandwidth. The test data displays that the frequency resolution is less than 0.1 MHz and the interception rate is up to 100%.

Key words: laser technique; parallel signal processing; coherent detection; acousto-optic deflection

引言

日益复杂而密集的电磁信号环境要求射频接收机具有大带宽和并行处理能力, 传统接收机受限于在给定的时间内只能处理一个信号。虽然信道化接收机克服了不能处理同时到达信号的弱点, 并且具有高动态范围和高截获率, 但是, 由于它体积大、质量大、成本高等原因, 使得它在实际应用中也受到很大限制。而声光接收机已被证实可以实现信道化^[1-3], 在处理同时到达多信号方面具有巨大优势。

结合声光技术和光纤型相干光探测的测频系统具有高速并行处理能力、实时性好、截获率高、带宽大、灵敏度高、精度高、系统简单等特点, 并且可以同时获得频率、幅度和方向位等多种信息^[4]。所有这些优势使得它非常适合在复杂而密集的电磁信号环境中实现精确、实时地测量多个同时到达信号。本文中利用声光偏转器和光纤相干光探测技术设计并建立了实验平台, 并对其性能参量进行了分析和测试。

1 测频原理^[5-6]

声光偏转测频技术是利用声波与光波的相互作用来实现信号处理。声光器件将电信号转换成携带其振幅和相位信息的超声波, 超声波在介质中传播时通过光弹效应引起介质折射率变化, 这种折射率变化载有声波的振幅和相位信息, 效果上相当于建立了折射光栅, 其间隔等于超声波的波长^[7]。如果将射频信号作

基金项目: 国家八六三高技术研究发展计划资助项目 (2007AA0860)

作者简介: 邓德迎 (1975-), 男, 工程师, 从事通信系统技术的研究。

E-mail: gietddy@guet.edu.cn

收稿日期: 2010-04-29; 收到修改稿日期: 2010-07-19

为超声波信号,随着射频信号频率的变化,光栅间隔也会跟着改变。由于光束偏转角度与光栅间隔成正比,所以它也正比于射频信号频率。当声光偏转器工作在布喇格衍射模式时,除了非衍射(0级)直射光束之外,只出现+1级(或-1级)衍射光束^[8-9],如图1所示。由Bragg衍射理论分析可知,光束以 θ_i 角入射

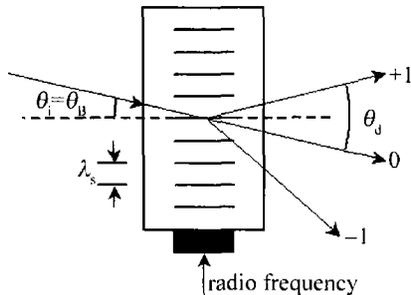


Fig. 1 Model of an acousto-optic deflector

时,产生衍射极值应满足布喇格条件^[3]: $\theta_i = \theta_B$ (θ_B 为布喇格角)和 $\sin\theta_B = \lambda/(2n\lambda_s)$ 。

布喇格角一般很小,可写为:

$$\theta_B \approx \lambda/(2n\lambda_s) = \lambda f_s/(2nv_s) \quad (1)$$

衍射光与入射光间的夹角为偏转角,它等于 θ_B 的2倍,即:

$$\theta_d = 2\theta_B = \lambda f_s/(nv_s) \quad (2)$$

此时+1级和-1级衍射光的频率 ω_{+1} 和 ω_{-1} 分别为:

$$\omega_{+1} = \omega + \Omega \quad (3)$$

$$\omega_{-1} = \omega - \Omega \quad (4)$$

式中, θ_d 为声光偏转角, n 为晶体的折射率, λ_s 为声波波长, λ 为光束的波长, f_s 为介质中的声频, v_s 为介质中的声速, ω 为激光角频率, Ω 为声波频率。

由于+1级衍射光和-1级衍射光中包含了声波角频率、幅度和相位信息^[4]。为了能够在+1级衍射光或者-1级衍射光中检测出声波频率,系统采用光相干探测技术进行处理。若将一束角频率为 ω 的相干光与 ω_{+1} 或者 ω_{-1} 进行耦合,由于相干光角频率与激光角频率同频同相(都为 ω),由(3)式和(4)式可知,在光电探测器混合后的衍射光 ω_{+1} 或者 ω_{-1} 将只剩下 $+\Omega$ 分量或者 $-\Omega$ 分量,而入射激光的 ω 分量则被消除,从而检测出声波频率 Ω ,这种探测方式为零差探测,也可采用外差探测。

若同一时间声光偏转器上加多个不同频率电信号,则介质中将同时得到对应于每个信号频率的一列超声波。每列超声波与入射光束相互作用产生相应的1阶主衍射束,其方向偏离入射光束的角度 θ_i 为^[5]:

$$\theta_i = [\lambda/(nv_s)]f_i, (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (5)$$

这种偏转角随频率而变的现象就是声光偏转器进行声光信号处理的依据。但应该注意的是,各个信号功率不能过大,以免出现互调现象影响信号的正确测量。

2 多频互调数值仿真^[10]

为了便于分析,现以两个不同频率的信号同时加在声光偏转器上进行说明,假设 $N=2$,其幅度分别为 A_1 和 A_2 ,频率分别为 f_1 和 f_2 。由以上分析可知,此时产生的偏转光束除了包括各级衍射光外,还有对应于频率 $-(f_1-f_2), (f_1-f_2), (2f_1-f_2), (2f_2-f_1), (3f_1-2f_2), (3f_2-2f_1)$ 等等的互调光束。只有3阶互调光束落在了主衍射光的附近,会以假点的形式出现,对1级衍射光形成空间干扰。

当两个信号幅度相等,即 $A_1 = A_2$ 时,在布喇格条件下,两个信号的1级衍射光强度均为^[6]:

$$I_1 = |J_1(V)|^2 \quad (6)$$

3阶互调光束的强度为: $I_{2,1} = |J_3(V)|^2$ (7)

式中, V 为声致相移(与驱动功率成正比例关系), $J_1(V), J_3(V)$ 为贝塞尔函数。

由(6)式和(7)式作出1级衍射光强度、3阶互调光束强度与归一化驱动强度的关系曲线,见图2。由

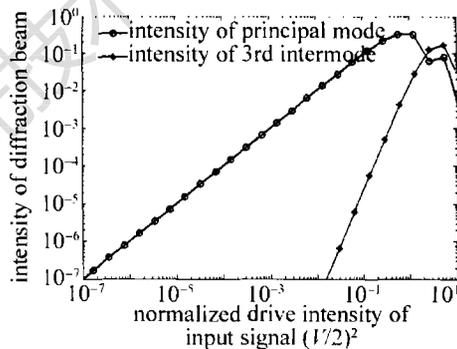


Fig. 2 The third-order intermodulation of two signals

图可知:当归一化驱动强度小于 10^{-2} 时,不会出现3阶互调现象。但随着驱动强度的增大,会逐渐出现3阶互调现象,并且3阶互调光束强度的增长速率远远大于1级衍射光束强度的增长速率。当归一化驱动强度大于1时,3阶互调光束的影响尤为严重。因此,为了实现信号的有效探测,必须使归一化驱动强度小于1。

3 系统的建立

系统组成框图如图3所示,激光器采用窄线谱激

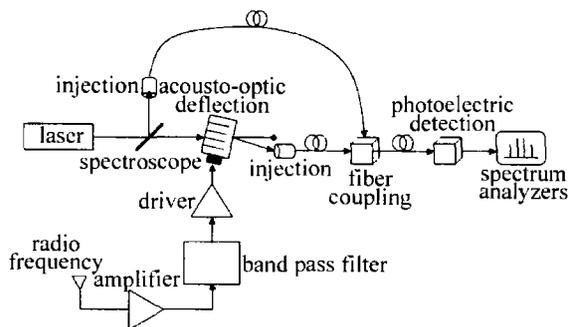


Fig. 3 Block diagram of the system

光器作为光源,经分光镜得到两路完全一致的光源信号。一路经光纤注入器进入保偏光纤,作为本振光源。另一路经声光偏转器后,得到携带射频信息的 +1(或 -1)级光斑,其偏转角度与射频信号的频率成正比。+1(或 -1)级光斑经光纤注入器进入保偏光纤,在光纤耦合器中与本振光源进行相干处理后,由光电探测器完成混频把光信号转换成电信号输出。

系统能处理同时到达的多路瞬时捷变信号,通过声光偏转器对信号的空间处理后,由光纤进行复用和传输处理,在系统带宽一定的条件下,能很好地完成实际测频带宽的要求,使频率信号的截获率达到 100%,系统测频截获率是系统带宽与实际测频范围的比值,它表明测量接收机对被测信号的跟踪能力。

4 系统实验及测试结果

实验测试平台见图 4,系统通过无线接收方式对

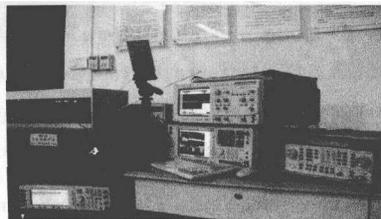


Fig. 4 Test system

单路或多路信号进行测试。实验中光源采用波长为 532nm、谱宽为 100MHz、输出功率为 50mW 的单纵模激光器。声光偏转器的中心频率为 400MHz,带宽为 200MHz,布喇格入射角为 0.035rad,渡越时间 $T = 2\mu\text{s}$,频率分辨率 $\delta f = 1/T = 0.5\text{MHz}$,最大偏转角 $\Delta\theta = 0.035\text{rad}$ 。

系统测试中适当选择信号光与参考光的分光比,可使相干效果获得理想状态。当信号光功率一定时,适当增加参考光功率,经相干探测后得到的载频信号功率也随之增加。一般情况下,信号光功率小于参考光功率,两者相差在 20dB ~ 30dB 时可获得满意效果,本振光功率进一步增加,散粒噪声随之增大,以致降低了光外差探测系统的信噪比,且过强的本振光将使光电探测器的量子效率发生变化,探测器进入饱和状态,在非线形区域工作,探测效果恶化。为了模拟实际系统同时处理多信号的能力,将有一定频率间隔的 4 个信号通过空间发射,并经同一天线接收后进行处理,其频谱图如图 5 所示。

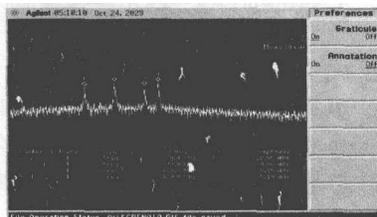


Fig. 5 Spectrum of multi-signal coherent detection

由此可知,此相干光探测系统可实现对多路信号的同时准确探测。值得注意的是,实验中应适当控制发射信号功率,保证声光偏转器工作于线性区域,以减少多信号间的交叉调制对信号探测造成的干扰。

通过多次测量,系统稳定可靠,在带宽范围内对不同频率信号进行实验,系统性能得到明显改善,光探测灵敏度优于 -69dBm,相比直接强度光探测系统提高了 10dB 以上,在系统带宽内,频率分辨率优于 0.1MHz,对信号的截获概率达 100%,实现了对载频的无缝测量。

5 结论

通过理论分析和建立实验测试平台,验证了采用声光技术与相干光探测技术相结合的方法能提高系统探测弱信号能力的可行性。系统将空间光注入保偏光纤中进行传输处理,减小了背景光的影响和光束的漂移,对提高系统信噪比和信号探测的稳定性起到关键作用,尤其是对多信号的同时探测、传输和处理显示出极大优越性,证明了系统对载频信号探测具有实时、快速、准确等特点,为后续研究奠定良好的基础。

参考文献

- [1] JIANG Y. Bragg acousto-optic receiver used for reconnaissance and warning[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2005, 3(2):51-53(in Chinese).
- [2] XU H Q, JIANG Y. Measurement of radar carrier frequency via acousto-optic deflection effect[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2005, 19(4):17-19(in Chinese).
- [3] JIANG Y. Acousto-optic spectrum analyzer based on bragg diffraction[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2006, 28(3):269-271(in Chinese).
- [4] WU J J, SHI B R, KONG M, et al. Analyses of the frequency-shifting and beam deflection of the Bragg acousto-optic interaction in cascade[J]. Laser Technology, 2004, 28(1):23-25(in Chinese).
- [5] CHENG N P, JIANG X F, SHAO D R, et al. Acousto-optic signal processing and application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004:101-109, 13-20(in Chinese).
- [6] WEN T, WEI J B, MA D T, et al. A novel method of increase acousto-optic deflector spatial resolution[J]. Chinese Journal of Laser, 2005, 32(12):1631-1635(in Chinese).
- [7] BOBROWICZ R. Evaluation of dynamic range in acousto-optic phase processor[C]//13th International Conference on Microwaves Radar and Wireless Communications, 2000. New York: IEEE, 2000:715-718.
- [8] FU Q, JIN T, ZHOU Q. Research of the beam steering theory based on acousto-optic effect[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(6):1083-1087(in Chinese).
- [9] DING X H, YU K X. Analysis of ultrasonic steering in isotropic acousto-optic deflector[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(11):1043-1046(in Chinese).
- [10] JIANG H Y, HE N, GAO X Ch. Research on the phenomenon of the third order intermodulation during multi-frequency acousto-optic diffraction[J]. Optical Communication Technology, 2009, 33(5):54-56(in Chinese).